Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 35-48

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۴۸-۳۵

واکنش برخی از صفات خاک و ویژگی‌های کیفی دانه آفتابگردان به رژیم‌های مختلف تغذیه‌ای

فاطمه سلیمانی[۱]- گودرز احمدوند[۲*]- علی اکبر صفری سنجانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر رژیم‌های گوناگون تغذیه‌ای بر برخی ویژگی‌های کیفی دانه گیاه روغنی آفتابگردان و همچنین خاک تحت کشت آن، آزمایشی در سال ۱۳۹۴ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان اجرا شد. تیمارها شامل: عدم کاربرد هر گونه کود شیمیایی و زیستی، کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده (NP)، 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده بدون کود زیستی، کود آلی ورمی‌کمپوست، کود زیستی فسفونیتروکارا، کود زیستی بیوسولفور، ورمی‌کمپوست+ فسفونیتروکارا، ورمی‌کمپوست+ بیوسولفور، ورمی‌کمپوست+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، فسفو نیتروکارا+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، بیوسولفور+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، ورمی‌کمپوست+ فسفونیتروکارا+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، ورمی‌کمپوست+ بیوسولفور+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده بود. نتایج نشان داد که تیمارهای تغذیه‌ای، تمامی صفات به جز درصد روغن دانه و اسیدیته خاک را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند. بیشترین غلظت عناصر بررسی شده، روغن و پروتئین دانه در تیمارهای تلفیقی مشاهده شد. همچنین کاربرد تلفیقی کودها بالاترین غلظت نیتروژن، فسفر و سولفات در خاک را به همراه داشت. به‌طور کلی، چنین به نظر می‌رسد که کودهای زیستی مورد مطالعه و ورمی‌کمپوست به همراه کودهای شیمیایی ضمن تولید عملکرد مطلوب آفتابگردان می‌توانند با بهبود شرایط تغذیه‌ای خاک، تأثیر مثبتی بر پایداری تولید و کاهش مصرف کودهای شیمیایی داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: عناصر غذایی، کود زیستی، ورمی‌کمپوست

مقدمه

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در جهان محسوب می‌شود. بالا بودن میزان اسیدهای چرب غیراشباع لینولئیک و اولئیک که از اسیدهای چرب ضروری بوده باعث افزایش ارزش تغذیه‌ای روغن آفتابگردان شده است (Izquierdo and Aguirrezabal, 2008).

یکی از جنبه‌های بسیار مهم مدیریت زراعی برای دستیابی به عملکرد اقتصادی بالا در هر گیاهی فراهم نمودن مقدار کافی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک است. عملکرد محصول، با میزان عرضه عناصر معدنی و آلی خاک که برای آن قابل بهره‌گیری باشد، متناسب بوده و از دیرباز بشر به اهمیت عناصر معدنی و آلی در رشد گیاه و تولید محصول پی برده است. امروزه از کودها به‌عنوان ابزاری برای دستیابی به حداکثر تولید در واحد سطح استفاده می‌شود.

نیتروژن یکی از عناصر غذایی مهم برای رشد گیاهان و پایه ساخت پروتئین و نوکلئیک اسید است. فسفر دومین عنصر محدودکننده تولید گیاهان زراعی پس از نیتروژن می‌باشد و در فرآیندهای بیوشیمیایی و ترکیب‌های انرژی‌زا و انتقال انرژی، تشکیل دانه و سوخت و ساز تبدیل قند به نشاسته نقش پایه‌ای را بر عهده دارد. گوگرد یکی دیگر از عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان است که در سال‌های اخیر استفاده از آن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. گوگرد نیز مانند نیتروژن از عناصر ضروری در ساختمان پروتئین‌های گیاهی است و نقش ساختاری در آمینواسیدهایی مثل سیستین، سیستئین و متیونین، روغن و برخی از پروتئین‌های مؤثر در سنتز ویتامین‌ها و کلروفیل دارد (Marschner, 1995; Weiss, 2000; Kacar and Katkat, 2007). همچنین این عنصر در ایجاد تعادل مطلوب مواد غذایی خاک بسیار مهم است، به‌طوری‌که کاربرد میزان مناسبی از گوگرد به همراه نیتروژن می‌تواند نقش مؤثری در افزایش قابلیت دسترسی به عناصر پر کاربرد نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و نیز عناصر کم کاربرد مانند آهن، مس، روی و منگنز داشته باشد (Kaplan and Orman, 1998; Erdal *et al*., 2004; Zapata

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۳- استاد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
(*- نویسنده مسئول: Email: gahmadvand@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v16i1.54524

and Roy, 2004; Uzun *et al*., 2008). زیرا گوگرد با تغییر اسیدیته خاک به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی خاک، حلالیت و انتقال عناصر مغذی، فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی خاک را کنترل می‌کند (Graeme *et al*., 1993). گوگرد از طریق اکسیداسیون و تولید پروتون اسیدیته خاک را کاهش و قابلیت دسترسی برخی عناصر را افزایش می‌دهد (Modaihsh *et al*., 1989). از سویی به دلیل قلیایی بودن خاک در اکثر مناطق ایران، تولید اسید سولفوریک در خاک در نتیجه فعالیت باکتری‌های اکسید کننده گوگرد می‌تواند در افزایش جذب عناصر پر کاربرد و کم کاربرد، مؤثر باشد.

هرچند بهره‌گیری از عناصرغذایی شیمیایی از عوامل مهم به‌زراعی است که بر رشد و نمو، عملکرد کمی و کیفی محصول تأثیر قابل توجهی دارد، اما کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب ایجاد مشکلات زیست‌محیطی فراوانی از جمله آلودگی منابع آب و خاک، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش میزان حاصلخیزی خاک‌ها گردیده است.کاربرد منابع تجدیدپذیر و مدیریت صحیح کودی می‌تواند نقش به‌سزایی در کاهش معضلات ذکر شده و تأمین اهداف نظام‌های زراعی سالم و پایدار داشته باشد. یکی از راه حل‌ها در مسیر دستیابی به بخشی از اهداف کشاورزی پایدار، استفاده از منابع آلی و زیستی در جهت تغذیه گیاهان زراعی می‌باشد.

کودهای زیستی از یک یا چند گونه میکروارگانیسم سودمند به همراه مواد نگهدارنده و یا فرآورده‌های آن‌ها ساخته شده‌اند (Vessy, 2003). باکتری‌های محرک رشد مانند ازتوباکتر (*Azotobacter* sp.)، آزوسپیریلیوم (*Azosprillium* sp.) و باسیلوس‌ها (*Bacillus*sp.) از طریق فرآیندهای مختلفی از قبیل تثبیت نیتروژن، تولیدهورمون‌های محرک رشد همانند اکسین‌ها، جیبرلین‌ها، سیتوکنین‌ها و اتیلن، محلول‌سازی فسفات و افزایش فسفات قابل‌جذب گیاه از طریق ترشح آنزیم‌های مختلف ازقبیل آنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی (Vessy, 2003)، افزایش جذب عناصر، افزایش مقاومت به تنش‌ها، تولید ویتامین‌ها و کنترل زیستی عوامل بیماری‌زا (Kennedy *et al*., 2004) در رشد گیاه مؤثرند. تیوباسیلوس‌ها (*Thiobacillus* sp.) نیز یکی از مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد در خاک‌های کشاورزی می‌باشند که می‌توانند اثرات قابل ملاحظه‌ای بر اسیدیته محیط، حلالیت عناصر و قابلیت دسترسی آن‌ها داشته باشند (Zapata and Roy, 2004). ورمی‌کمپوست کودی آلی و شامل مخلوط زیستی بسیار فعال از باکتری‌ها، آنزیم‌ها، بقایای گیاهی، کود حیوانی و کپسول‌های کرم خاکی می‌باشد که سبب ادامه تجزیه مواد آلی خاک و پیشرفت فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی در بستر کشت گیاه می‌گردد (Bremness, 1999). همچنین از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب، آزادسازی عناصرغذایی موجود در خاک و تولید هورمون‌های گیاهی، می‌تواند رشد و نمو گیاهان را بهبود بخشد (Arancon *et al*., 2004). در آزمایشات ورزی و همکاران (Varzi *et al*., 2011) استفاده تلفیقی از باکتری‌های محرک رشد به همراه کودهای نیتروژنی، فسفر و نیتروژن دانه آفتابگردان را نسبت به تیمار بدون باکتری افزایش داد. در مطالعات جهان و همکاران (Jahan *et al*., 2013) بر روی انواع کودهای زیستی، بیشترین درصد روغن دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) با ۳۹/۴۶ درصد و پروتئین دانه با ۲۰/۰۴ درصد به‌ترتیب در تیمارهای تلقیح با بیوسولفور و بیوفسفر دیده شد. همچنین کومار و همکاران (Kumar *et al*., 2014) در بررسی پیامد تلقیح دانه کنجد با باکتری سودوموناس‌آئروژینوزا (*Pseudomonas aeruginosa*) به همراه کاربرد کامل کود شیمیایی پیشنهادی و ۵۰ درصد آن گزارش کردند که تلقیح دانه به همراه کاربرد نیمی از کود پیشنهاد شده، عملکرد روغن و پروتئین را به‌ترتیب ۳۳/۳ و ۴۷/۵ درصد در برابر کاربرد کامل کود شیمیایی افزایش داد. احمد و همکاران (Ahmad *et al*., 2013) نیز در مطالعات خود پی بردند که تلقیح ماش (*Vignaradiate* L.) با رایزوبیوم (*Rhizobium*) و سودوموناس (*Pseudomonas*) تعادل یونی را بهبود داد و غلظت فسفر و پروتئین را در دانه افزود. نتایج بسیاری از مطالعات مبین تأثیر مثبت کودهای زیستی و آلی در بهبود رشد و کیفیت محصولات می‌باشد (Arancon *et al*., 2004; Roesty *et al*., 2006; Fankem *et al*., 2008). باتوجه به موارد ذکر شده و با توجه به اینکه تاکنون مطالعه جامعی درخصوص واکنش توأم عناصر خاک و دانه آفتابگردان به رژیم‌های مختلف تغذیه‌ای در ایران انجام نشده است، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر رژیم‌های گوناگون تغذیه‌ای بر غلظت عناصر دانه و خاک در زراعت آفتابگردان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان با مختصات عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی، با ارتفاع ۱۷۴۱ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی ۳۳۰ میلی‌متر در سال، انجام شد. به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، نمونه‌ای مرکب، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه تهیه که نتایج تجزیه آن در جدول ۱ ارائه گردیده است. میزان عناصر غذایی و برخی خصوصیات ورمی‌کمپوست مورد استفاده نیز تعیین شد (جدول ۱).

آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۳ تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل: عدم کاربرد هرگونه کود شیمیایی و زیستی، کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (NP) پیشنهاد شده بر اساس آزمون خاک، 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده بدون کود زیستی، کود آلی ورمی‌کمپوست، کود زیستی فسفونیتروکارا، کود

زیستی بیوسولفور، ورمی‌کمپوست+ فسفونیتروکارا، ورمی‌کمپوست+ بیوسولفور، ورمی‌کمپوست+1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، فسفونیتروکارا+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، بیوسولفور+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهادشده، ورمی‌کمپوست+ فسفونیتروکارا+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهادشده، ورمی‌کمپوست+ بیوسولفور+ 1/2 کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهادشده بود.

جدول ۱- مشخصات خاک و ورمی‌کمپوست مورد استفاده

Table 1- Characteristics of the soil and vermicompost used

	ماده آلی O.C (%)	نیتروژن کل N_{total} (%)	پتاسیم‌قابل استفاده $K_{available}$ (mg kg^{-1})	فسفرقابل استفاده $P_{available}$ (mg kg^{-1})	سولفات کل Sulfate (mg kg^{-1})	اسیدیته pH	مواد خنثی شونده T.N.V (%)	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})
Soil خاک	1	0.1	326	11	141.3	8	15	0.18
Vermicompost ورمی‌کمپوست	9.51	1.77	1727	1200	-	8.25	-	3.36

تهیه بستر، شامل عملیات شخم و دیسک‌زنی در اردیبهشت ماه ۱۳۹۴ انجام شد. کاشت بذور آفتابگردان رقم یوروفلور با دست و به‌صورت خشکه‌کاری در نیمه خرداد ماه انجام گرفت. در هر کرت آزمایشی پنج خط به طول پنج متر در نظر گرفته شد و فاصله خطوط ۶۰ سانتی‌متر بود. براساس تیمارهای تغذیه‌ای مورد نظر، کود شیمیایی نیتروژنی از منبع اوره به میزان ۲۵۰کیلوگرم در هکتار (یک سوم به‌صورت پایه و دو سوم به‌صورت سرک در زمان آغاز رشد سریع بوته‌ها و قبل از گلدهی) و فسفر از منبع سوپرفسفات‌تریپل براساس آزمون خاک به اندازه ۵۰ کیلوگرم در هکتار و نیمی از میزان پیشنهادشده در خاک به‌کار رفت. کود زیستی فسفونیتروکارا که دارای باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن (*Bacillus coagulans*, *Azotobacterchroococcum*, *Azospirillum lipoferum*) است به میزان پیشنهادشده توسط شرکت سازنده (۱۱۰ سی سی به ازای ۱۰ کیلوگرم بذر) و به‌صورت بذرمال استفاده شد. پس از تلقیح، کلیه بذور تیمارشده در سایه و به دور از نور خورشید خشک شدند و بلافاصله پس از خشک شدن کامل بذور تلقیح‌شده، کشت انجام شد. همچنین اعمال کود بیولوژیک بیوسولفور (*Thiobacillus*) به میزان شش کیلوگرم در هکتار به همراه مصرف گوگرد بنتونیت‌دار (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت جاگذاری در زیر و کنار بذور انجام گرفت.کود آلی ورمی‌کمپوست نیز در تیمارهای مورد نظر بر پایه میزان ۱۵ تن در هکتار پیش از کاشت با خاک آمیخته شد. جهت ایجاد تراکم گیاهی مورد نظر، تنک کردن بوته‌ها در مرحله ۴ برگی صورت گرفت. کنترل علف‌های‌هرز در طی فصل رشد به‌صورت دستی و آبیاری نیز به‌صورت نشتی و با استفاده از لوله پلی‌اتیلن انجام گردید.

غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و گوگرد در دانه‌های آفتابگردان و خاک هر کدام از کرت‌های آزمایشی در عمق توسعه ریشه، براساس روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (Page *et al*., 1996). همچنین ویژگی‌های کیفی دانه آفتابگردان شامل درصد نیتروژن با روش کجلدال و روغن با کمک دستگاه سوکسله تعیین گردید. مقدار پروتئین دانه از حاصل‌ضرب مقدار نیتروژن در ضریب ۶/۲۵ به‌دست آمد (Anonymous, 1987). عملکرد روغن، پروتئین و عناصر دانه از حاصل‌ضرب درصد پارامترهای ذکرشده در عملکرد دانه، محاسبه شد. پردازش داده‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار SASvar9.2 و ترسیم نمودارها نیز توسط نرم‌افزار Excel انجام گرفت. برای مقایسه میانگین تیمارها از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

غلظت و عملکرد گوگرد دانه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای کودی به‌طور بسیار معنی‌داری غلظت و عملکرد گوگرد دانه را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). کاربرد توأم بیوسولفور و ورمی‌کمپوست بیشترین میزان گوگرد دانه (۰/۲۳۱ درصد) را در پی داشت (جدول ۳). البته تیمار مذکور با تیمارهای بیوسولفور، ورمی‌کمپوست و تیمار تلفیقی بیوسولفور به همراه ورمی‌کمپوست و نیمی از کود شیمیایی اختلاف معنی‌داری نداشت. عملکرد گوگرد نیز تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین میزان عملکرد گوگرد (۱۱/۱۲) در کاربرد کامل کود شیمیایی مشاهده شد که با کاربرد توأم بیوسولفور+ ورمی‌کمپوست و بیوسولفور به همراه ورمی‌کمپوست و نیمی از کود شیمیایی اختلاف آماری نداشت. در مطالعات سلیم‌پور و همکاران

جدول۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی برصفات اندازه‌گیری‌شده دانه آفتابگردان

Table 2- Analysis of variance of fertilizer treatments effect on measured traits of grain sunflower

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares									
		گوگرد Sulfur		فسفر Phosphor		نیتروژن Nitrogen		پروتئین Protein		روغن Oil	
		غلظت Concentration	عملکرد Yield	غلظت Concentration	عملکرد Yield	غلظت Concentration	عملکرد Yield	غلظت Concentration	عملکرد Yield	غلظت Concentration	عملکرد Yield
تکرار Replication	2	0.000007^{ns}	0.32^{ns}	0.001^{ns}	2.93^{ns}	0.004^{ns}	85.06^{ns}	0.145^{ns}	3322.73^{ns}	236.86**	400115.23**
کود Fertilizer	12	0.001**	6.55**	0.002**	39.07**	0.077**	1476.73**	3.028**	57684.67**	15.836^{ns}	333070.48**
خطا Error	24	0.0003	1.07	0.0006	3.43	0.006	73.86	0.221	2885.18	10.59	31001.05
ضریب تغییرات cv	-	8.8	12.1	5.7	10.9	3.0	8.0	3.0	8.0	6.7	8.4

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

ns,* and ** non significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

(Salimpour *et al*., 2010)، تیمار خاک فسفات بـه همـراه گـوگرد، مواد آلی و تیوباسیلوس بیشترین غلظت گوگرد دانه کلـزا (*Brassica napus* L.) به میـزان ۰/۷۳درصـد را بـه همـراه داشـت. محمـدی و همکـاران (Mohammadi *et al*., 2011) نیـز در مطالعـات خـود، افزایش معنی‌دار گوگرد دانه کلـزا را در اثـر کـاربرد کودهـای زیسـتی گزارش کردند.

به‌طور کلی در پژوهش حاضر، با توجـه بـه حضـور بـاکتری‌هـای تیوباسیلوس که اکسیدکننده گوگرد می‌باشند، میـزان گـوگرد دانـه در تیمارهای حاوی بیوسولفور بیشتر از فسـفونیتروکارا و ورمـی‌کمپوسـت بود (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً کود زیستی بیوسـولفور توانسته از طریق افزایش فعالیت باکتری‌هـای اکسـیدکننـده‌گـوگرد و بهبود دسترسی به این عنصر در ریزوسفر، منجـر بـه تـأمین مطلـوب گوگرد مورد نیاز گیاه و درنتیجه افزایش غلظت آن در دانه آفتـابگردان گردد.

غلظت و عملکرد فسفر دانه: بیشترین میزان فسفر دانـه (۰/۴۵ درصد) به تیمارهای فسفونیتروکارا به همراه ورمی‌کمپوسـت و کـاربرد هم‌زمان بیوسولفور+ ورمی‌کمپوسـت+ نیمـی از کـود شـیمیایی تعلـق داشت که به‌طور معنی‌داری۳۲/۳ درصد بیشـتر از شـاهد منفـی بـود. همچنین تیمارهای مذکور با ورمی‌کمپوست بـه‌عـلاوه نیمـی از کـود شیمیایی، بیوسولفور به همراه ورمی‌کمپوست، فسفونیتروکارا به‌عـلاوه نیمی از کود شیمیایی، ورمی‌کمپوست و کاربرد کامل کـود شـیمیایی، اختلاف آماری نداشتند (جدول ۳). در بررسی‌های کومـار و همکـاران (Kumar *et al*., 2014) نیز کاربرد تنها و توأم باکتری‌هـای محـرک رشد در مقایسه با شاهد عـدم تلقـیح، افـزایش چشـمگیری در مقـدار جـذب فسـفر دانـه گنـدم (*Triticumaestivum* L.) نشـان دادنـد. باکتری‌های محرک رشد از طریق ترشح آنزیم‌های مختلـف، از قبیـل آنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی موجب محلول‌سـازی فسـفات، افـزایش فسفات قابل‌استفاده و فسفر گیاه مـی‌شـوند (Vessy, 2003). کـاربرد توأم ورمی‌کمپوست و فسفونیتروکارا باعث تشدید اثـرات مثبـت کـود زیستی شده که ممکن است به علت افـزایش فعالیـت بیولـوژیکی در محیط رشد دارای ورمی‌کمپوست و بهبـود فراهمـی و جـذب عناصـر غذایی مورد نیاز جهت فعالیت باکتری‌های حل‌کننده‌فسفات باشـد کـه در نهایت باعث بهبـود غلظـت فسـفر دانـه شـده اسـت. موهـانتی و همکاران (Mohanty *et al*., 2006) بیان داشتند که مصرف ورمـی-کمپوست در مقایسه با شاهد، به علت رهاسازی آهسته فسفر و بهبـود فراهمی این عنصر در خاک، باعث افزایش چشمگیر غلظت فسفر دانه بادام‌زمینی (*Arachishypogea* L.) شد.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در تیمارهای کودی مختلف

Table 3- Means comparison of studied traits in different fertilizer treatments

کود Mineral trait	Sulfur گوگرد		Phosphor فسفر		Nitrogen نیتروژن		Protein پروتئین		Oil روغن
	غلظت Concentration (٪)	عملکرد Yield (kg ha^{-1})	غلظت Concentration (٪)	عملکرد Yield (kg ha^{-1})	غلظت Concentration (٪)	عملکرد Yield (kg.ha^{-1})	غلظت Concentration (٪)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg.ha^{-1})	عملکرد Yield (kg ha^{-1})
Cf	0.187	11.12	0.42	24.942	2.632	156.246	16.45	976.54	2764.9
½ cf	0.184	7.97	0.4	17.343	2.576	11.719	16.1	698.24	2063.8
Nf	0.201	6.23	0.34	10.67	2.1	65.223	13.12	420.15	1430
P	0.198	7.8	0.39	15.358	2.394	94.344	14.962	589.65	1899.9
B	0.225	9.14	0.39	15.908	2.352	95.752	14.7	598.45	2052.1
V	0.215	7.79	0.42	15.293	2.366	86.05	14.787	537.81	1901.7
P+½ cf	0.168	7.49	0.42	18.818	2.646	118.516	16.537	740.72	2034.5
P+V	0.19	7.39	0.45	17.565	2.436	95.287	15.225	595.54	1884.1
P+V+½ cf	0.175	7.96	0.4	18.182	2.688	122.066	16.8	762.91	2082.2
B+½ cf	0.2	8.35	0.41	17.061	2.408	100.451	15.05	627.82	2063.7
B+V	0.231	10.74	0.43	19.873	2.394	110.775	14.962	692.35	2452.2
B+V+½ cf	0.207	10.71	0.45	23.201	2.445	126.254	15.279	789.09	2523.1
V+½ cf	0.2	8.89	0.44	19.685	2.595	115.221	16.221	720.13	2152.3
LSD(0.05)	0.0296	1.744	0.0399	3.1198	0.1267	14.483	0.7918	90.517	296.71

Cf: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده، ۱/۲cf: ۵۰ درصدکود شیمیایی پیشنهاد شده، Nf: عدم مصرف کود، V: ورمی‌کمپوست، P: فسفونیتروکارا، B: بیوسولفور

Cf: 100% of the recommended fertilizer, 1/2cf: ½ proposed fertilizer, Nf: No fertilizer, V: Vermicompost, P: Phosphonitrokara, B: Biosulfur

علی‌رغم عدم تغییر معنی‌دار اسیدیته خاک (جدول ۴)، تأثیر مثبت کود زیستی بیوسولفور بر میزان فسفر دانه می‌تواند بـه علـت فعالیـت باکتری‌های تیوباسیلوس و تولید اسید سولفوریک باشد که احتمـالاً بـا کاهش موضعی اسیدیته میکروسایت‌هـا در خـاک ریزوسـفری، باعـث حلالیت و قابل‌دسـترس سـاختن فسـفر بـرای گیـاه گردیـده اسـت. تیمارهـای کـاربرد کامـل کـود شـیمیایی و بیوسـولفور بـه همـراه ورمی‌کمپوست و نیمی از کود شیمیایی، بیشترین میزان عملکرد فسفر دانه را به‌ترتیب به میـزان ۲۴/۹ و ۲۳/۲کیلـوگرم در هکتـار بـه خـود اختصاص دادند (جدول ۳). از نظر عملکرد فسفر دانه، تیمارهای منفرد در مقایسه با شاهد منفی (عدم کاربرد کود) تفاوت چشمگیری داشتند، اما از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. همچنـین بین تیمارهای تلفیقی به‌جز بیوسولفور+ ورمی‌کمپوست+ نیمی از کـود شیمیایی، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جـدول ۳). نتـایج محققـین بسیاری مبین تـأثیر مثبـت میکروارگانیسـم‌هـای حـل‌کننـده‌فسـفات، تثبیت‌کننده نیتـروژن و کودهـای آلـی بـر غلظـت فسـفر دانـه اسـت (Fankem *et al*., 2008; Ahmad *et al*., 2013; Phonglosa *et al*., 2015).

غلظت و عملکرد نیتروژن و پروتئین دانه: مقـدار نیتـروژن و پروتئین دانه در کلیه تیمارهای تغذیه‌ای مورد بررسی نسبت به شـاهد منفی افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۲). بیشترین میزان نیتروژن دانه (۲/۶۸۸ درصد) در کاربرد فسفونیتروکارا به همراه ورمی‌کمپوسـت و نیمی از کود شیمیایی به‌دست آمد که با تیمارهـای کـود شـیمیایی، نیمی از کود شیمیایی، فسفونیتروکارا به‌علاوه نیمی از کود شیمیایی و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و نیمـی از کـود شـیمیایی در یـک گـروه آماری قرار داشتند (جدول ۳). با توجه به اینکه مقدار پروتئین دانه تابع غلظت نیتروژن آن می‌باشد بیشترین میزان پروتئین دانه نیز به تیمـار کود زیستی فسفونیتروکارا در تلفیـق بـا کـود شـیمیایی و آلـی (۱۶/۸ درصد) تعلق داشت (جـدول ۳). ایـن تیمـار سـبب افـزایش معنـی‌دار (۲۸/۰۵ درصد) پروتئین دانه نسبت به تیمار شاهد عدم مصـرف کـود شد که باتوجه به حضور باکتری‌های تثبیت‌کننده‌نیتروژن و حل‌کننـده فسـفات در کـود زیسـتی دور از ذهـن نبـود. بـه نظـر مـی‌رسـد کـه میکروارگانیسم‌های موجود در این کود زیستی توانسـته‌انـد بـا تثبیـت نیتروژن و فراهمی آن برای گیـاه، پـیش‌سـازهای لازم جهـت تولیـد پروتئین را تأمین نمایند. بنابراین می‌توان با افزودن نیمی از کـود اوره پیشنهادشده بـه خـاک بـه همـراه فسـفونیتروکارا، درصـد نیتـروژن و پروتئین دانه آفتابگردان را افزایش و مصرف کود شـیمیایی را کـاهش داد.

مصرف هـم‌زمـان کـود آلـی و زیسـتی، جـذب نیتـروژن از کـود شیمیایی را افزایش داد که با نتایج شـاتا و همکـاران (Shata *et al*., 2007) مطابقت داشت. در مقایسـه کودهـای زیسـتی، فسـفونیتروکارا تأثیر مثبت بیشتری بر نیتروژن دانه داشت که احتمالاً به علت فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده‌نیتروژن، این عنصر در طی فصـل بـه‌صـورت مداوم و پایداری فراهم بوده و گیاه بـا اسـتفاده از آن توانسـته میـزان نیتـروژن بیشـتری را در دانـه ذخیـره کنـد. در آزمایشـات حسـنودین (Hasanudin, 2003) پیرامون تأثیر ازتوباکتر به همراه مـواد آلـی بـر روی گیاه ذرت، تلقیح با این باکتری، قابلیت جذب نیتروژن و فسفر را به بالاترین حد افزایش داد. رودریگز و همکاران (Rodrigues *et al*., 2008) نیز در بررسی‌های خود، شاهد افزایش معنی‌دار نیتـروژن دانـه برنج (*Oryza sativa* L.) در اثر تلقیح سویه‌ای از آزوسپیریلیوم بودند. در آزمایشی دیگر، کاربرد ترکیبی از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتـروژن و حل‌کننده فسفات بیشترین جذب نیتروژن دانـه گنـدم را در شـرایط گلخانه و مزرعه به همراه داشت که در مقایسه با عدم تلقیح به‌ترتیـب ۱۲۶/۱ و ۶۰/۶ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد (Kumar *et al*., 2014). تـأثیر مثبـت بـاکتری‌هـای تثبیـت‌کننـده نیتـروژن و حل‌کننده‌فسفات بر میزان نیتـروژن دانـه آفتـابگردان توسـط ورزی و همکاران (Varzi *et al*., 2011) نیز گزارش شده است.

با توجه به اینکه بیشترین عملکرد دانه در تیمار کاربرد کامل کـود شیمیایی به‌دست آمد و همچنین درصد نیتروژن دانه در این تیمار بالا بود حداکثر میزان عملکرد نیتروژن دانه (۱۵۶/۲۴۶ کیلوگرم در هکتار) نیز در این تیمار مشاهده شد که ۲/۴ برابر شاهد منفی بود (جدول ۳). کاربرد منفرد کودهای زیستی و آلی تفاوت معنـی‌داری از نظـر درصـد پروتئین با یکدیگر نداشتند (جـدول ۳). در حـالی‌کـه کـاربرد تلفیقـی کودهای شیمیایی و آلی همراه با کود زیستی فسفونیتروکارا در مقایسه با بیوسولفور، اثر هم‌افزایی بیشتری بـر درصـد پـروتئین دانـه داشـت. همچنین کلیه تیمارهای مورد بررسی باعث افزایش چشمگیر پروتئین بذر در مقایسه با شاهد منفی (عـدم کـاربرد کـود) شـدند (جـدول ۳). حداکثر عملکرد پروتئین با کاربرد کود شیمیایی به‌دست آمـد کـه ۲/۳ برابر شاهد منفی بود. افزایش درصد پروتئین بر اثر استفاده از کودهای بیولوژیک توسط محققین بسیاری گـزارش شـده اسـت (Kumar *et al*., 2009; Ahmad *et al*., 2013; Jahan *et al*., 2013).

غلظت و عملکرد روغن دانه: نتایج حاصل از تجزیـه واریـانس داده‌ها بیانگر آن است که روغن دانه تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار نگرفت (جدول ۲). با این وجود بیشترین میزان روغن دانـه از کـاربرد هم‌زمان بیوسولفور و ورمی‌کمپوست (۵۳/۱۲ درصد) به‌دست آمـد کـه با شـاهد منفـی (۴۶ درصـد) تفـاوت داشـت. در مطالعـات شـاکری و همکاران (Shakeri *et al*., 2012) نیز تیمارهـای کـودی نتوانسـتند منجر بـه تغییـرات معنـی‌داری در میـزان روغـن دانـه کنجـد شـوند. علی‌رغم عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهای کودی بـر درصـد روغـن دانـه،

بیشترین عملکرد روغـن (۲۷۶۴/۹ کیلـوگرم در هکتـار) بـا توجـه بـه حداکثر بودن عملکرد دانه در تیمار کاربرد کود کامل شیمیایی مشاهده شد (جدول ۳). طبق نظر اوزون و همکـاران (Uzun *et al*., 2008) و شارما و همکاران (Sharma *et al*., 2005) نیز مصـرف نیتـروژن بـه دلیل تأثیر مثبت بر عملکرد دانه، عملکرد روغن را افـزایش مـی‌دهـد. کمترین عملکرد روغن نیز در اثر عدم مصرف کود حاصل شد کـه بـا سایر تیمارهای مورد بررسی اخـتلاف معنـی‌داری داشـت (جـدول ۳). رتبه‌های دوم و سوم از نظر عملکرد روغن بعـد از تیمـار کـود کامـل شیمیایی در تیمار تلفیقی بیوسولفور، ورمی‌کمپوسـت و نیمـی از کـود شیمیایی و کاربرد هم‌زمان بیوسولفور و ورمی‌کمپوست به‌دست آمد که به‌ترتیب ۷۶/۴ و ۷۱/۵ درصد بیشتر از شـاهد منفـی بـود (جـدول ۳). عملکرد روغن در تیمار تلفیقی بیوسولفور، ورمی‌کمپوسـت و نیمـی از کود شیمیایی با کاربرد کامل کود شیمیایی در یک گروه آمـاری قـرار داشتند (جدول ۳). بنابراین در ارتباط با عملکرد روغن می‌تـوان چنـین استنباط کرد که کـاربرد هـم‌زمـان کـود زیسـتی بیوسـولفور بـا کـود شیمیایی و آلی می‌تواند موجـب کـاهش مصـرف کودهـای شـیمیایی گردد. سایر تیمارهـای کـودی مـورد بررسـی اخـتلاف معنـی‌داری بـا یکدیگر نداشتند (جدول ۳).

در مطالعات جهان و همکـاران (Jahan *et al*., 2013) بیشـترین درصد روغن با ۳۹/۴۶ درصد در تیمارهای تلقیح با بیوسولفور به‌دسـت آمد. سلیم‌پور و همکاران (Salimpour *et al*., 2010) نیز نشان دادند که باکتری‌های اکسیدکننده‌گوگرد می‌توانند در افزایش عملکرد روغن دانه کلزا مؤثر باشند. التاف و همکـاران (Altaf *et al*., 2000) اثـرات مثبت تیوباسیلوس بر میزان روغن دانه را بـه جابـه‌جـایی مناسـب‌تـر آنزیم‌های فتوسنتتاز، بهبود فعالیت استیل‌کوانزیم‌آ و افـزایش فراهمـی کربن برای بیوسنتز روغن نسبت داده‌اند. با توجه بـه نقـش سـاختاری گوگرد در بیوسنتز روغن می‌توان نتیجه‌گیری کـرد کـه بـاکتری‌هـای تیوباسیلوس به همراه گوگرد بنتونیت‌دار، توانسته‌اند ازطریق اکسـایش گوگرد در تأمین این عنصر نقش مثبتی ایفا کرده و منجر بـه افـزایش روغن دانه در تیمارهای مذکور شوند.

غلظت سولفات کل خاک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حکایـت از تأثیر معنی‌دار تیمارهای مورد مطالعه بر سولفات کـل خـاک داشـت (جدول ۴). بیشترین میزان سولفات کل خاک در تیمار بیوسـولفور بـه همراه ورمی‌کمپوست (۱۷۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) حاصل شـد که ۳۶/۲ درصد بیشتر از غلظت سولفات کـل خـاک در تیمـار شـاهد منفی بود. همچنـین ایـن تیمـار، اخـتلاف معنـی‌داری بـا تیمارهـای بیوسولفور، فسفونیتروکارا و کاربرد هم‌زمان فسـفونیتروکارا بـه همـراه ورمی‌کمپوست و نیمی از کود شیمیایی نداشت (شکل ۱).

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی بر صفات اندازه‌گیری شده در خاک محل آزمایش

Table 4- Analysis of variance of fertilizer treatments effect on soil measured traits

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	Mean of squares میانگین مربعات			
		سولفات کل Total sulfate	فسفر قابل جذب Available phosphor	نیتروژن کل Total nitrogen	اسیدیته pH
تکرار Replication	2	151.894^{ns}	1.099^{ns}	0.00006^{ns}	0.000002^{ns}
Fertilizer کود	12	781.258**	184.38**	0.002**	0.01^{ns}
Error خطا	24	181.44	2.13	0.00003	0.032
ضریب تغییرات cv	-	9.5	7.3	6.5	2.5

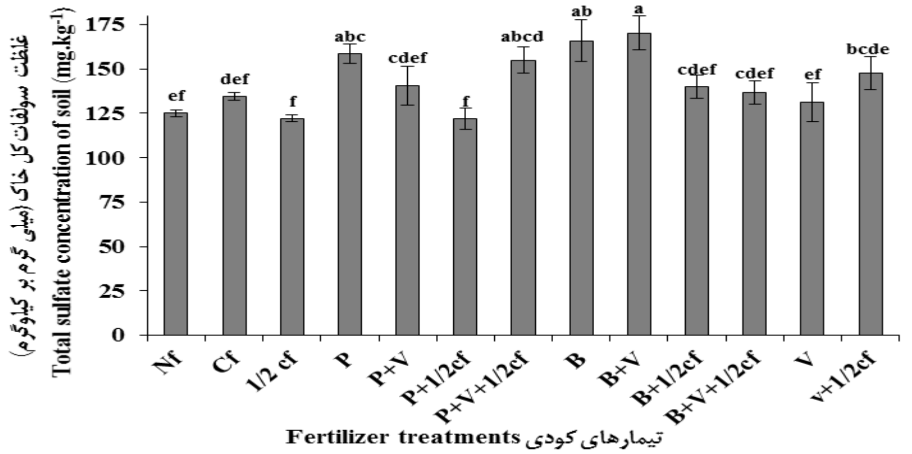
ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد است.

ns,* and ** non significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

صـیامی و بشـارتی (Siami and Besharaty, 2012) نیـز در بررسی اثر مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر روند اکسایش گـوگرد و آزاد شدن آهن و روی، در انتهای دوره ۹۰ روزه آزمایش خـود، شـاهد بیشترین غلظت سولفات خاک (۹۵۱/۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خـاک) در تیمار کاربرد توأم گوگرد عنصری به همـراه تلقـیح تیوباسـیلوس و کمپوست مواد آلی بودند.

غلظت فسفر قابل‌جذب خاک: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غلظت فسفرقابل‌جذب خـاک بـه‌صـورت معنـی‌داری تحـت تـأثیر تیمارهـای کـودی قـرار گرفـت (جـدول ۴). بیشـترین میـزان فسـفر قابل‌جذب در تیمار فسفونیتروکارا به همراه ورمی‌کمپوسـت و نیمـی از کود شیمیایی (۳۴/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بـه‌دسـت آمـد کـه ۲/۷برابر فسفرقابل‌جذب در تیمار شاهد منفی بـود (شـکل ۲). کـاربرد منفرد ورمی‌کمپوست در مقایسه با شـاهد عـدم مصـرف کـود، باعـث افزایش دو برابری فسفر قابل جذب خاک گردید. همچنین در تمـامی تیمارهـــای تلفیقـــی حـــاوی ورمـــی‌کمپوســـت بـــه جـــز بیوسـولفور+ورمی‌کمپوسـت+ نیمـی از کـود شـیمیایی، مقـدار فسـفر قابل‌جذب‌خاک بالا بود، که نشان از تأثیر معنی‌دار ورمی‌کمپوسـت بـر انحلال و افزایش فراهمی فسفر داشت. میزان فسفرقابل‌جذب در تیمار

فسفونیتروکارا به همراه ورمی‌کمپوست و فسفونیتروکارا به‌علاوه ورمی‌کمپوست و نیمی از کود شیمیایی به‌ترتیب ۲/۲۵ و ۲/۶۱ برابر کاربرد منفرد فسفونیتروکارا بود (شکل ۲).



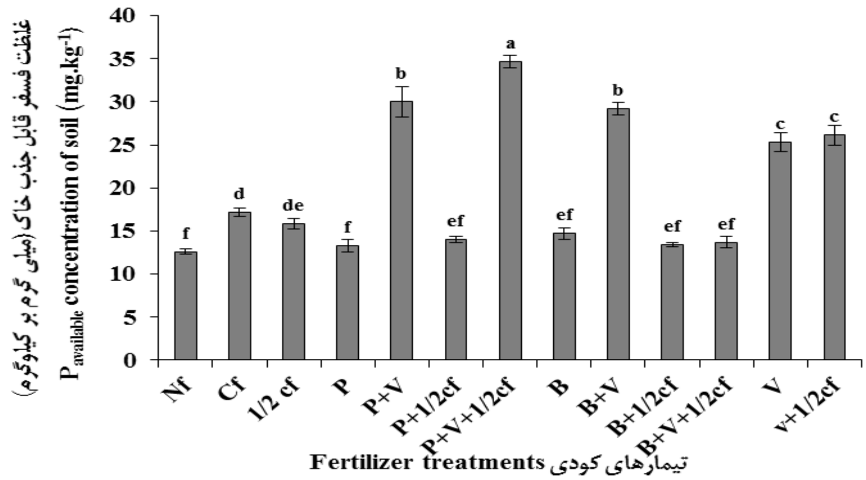
شکل ۱- تأثیر تیمارهای کودی بر میزان سولفات کل خاک. (Cf: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده، 1/2cf: ۵۰ درصدکود شیمیایی پیشنهاد شده، Nf: عدم مصرف کود، V: ورمی‌کمپوست، P: فسفونیتروکارا، B: بیوسولفور). میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 1- Effect of fertilizer treatments on total sulfate concentration in soil (Cf: 100% of the recommended fertilizer, 1/2cf: ½ proposed fertilizer, Nf: No fertilizer, V: Vermicompost, P: Phosphonitrokara, B: Biosulfur). Means in each column, followed by the same letters, are not significantly different at 5% probability level- using LSD test.

چنین به نظر می‌رسد که کاربرد کود آلی ورمی‌کمپوست در سیستم کشت، با افزایش هوموس موجود در خاک باعث پوشاندن سطح ذرات رس شده و مانع تثبیت فسفر و در نتیجه افزایش غلظت فسفر قابل‌جذب شده است. در آزمایشات خان و همکاران (Khan *et al.*, 2015) تیمارهای مختلف ورمی‌کمپوست و تلقیح زیستی در مقایسه با شاهد، محتوای فسفر قابل‌جذب‌خاک را ۶۷/۴ تا ۱۴۰/۶درصد افزایش دادند. فونگلوزا و همکاران (Phonglosa *et al.*, 2015) نیز گزارش کردند که محتوای فسفر قابل‌جذب‌خاک در تیمارهای کودهای شیمیایی، زیستی و آلی بیشتر از کاربرد منفرد کود شیمیایی بود. به‌طوری که کاربرد هم‌زمان ۷۵ درصد کود نیتروژن و فسفر توصیه شده به همراه پتاسیم+ باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کود دامی در مقایسه با کاربرد کامل کود شیمیایی باعث افزایش ۸۴/۲ درصدی مقدار فسفر قابل‌جذب خاک شد. همچنین ال-دوینی و همکاران (El-Dewiny *et al.*, 2006) بیان کردند وقتی کودهای فسفر با مواد آلی مخلوط می‌شوند باعث افزایش فراهمی فسفر نسبت به کاربرد کودهای فسفر به تنهایی می‌گردند که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت. ایچرلوبرمن و همکاران (Eichler-lobermann *et al.*, 2007) نیز دریافتند که کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی، مقدار فسفر خاک را بیشتر از مصرف منفرد آن‌ها افزایش می‌دهد. بنابراین می‌توان بیان داشت که استفاده تلفیقی از کود زیستی، آلی و شیمیایی می‌تواند با انحلال و رهاسازی آهسته فسفر، علاوه بر مرتفع ساختن نیاز محصول در طی فصل رشد، در تأمین فسفر کشت بعدی نیز مؤثر واقع شود.

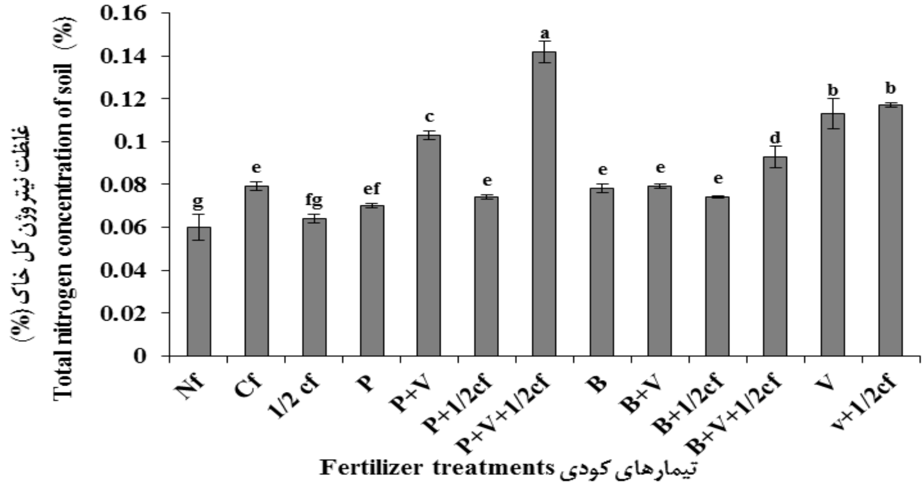
غلظت نیتروژن کل خاک: اثر کودهای زیستی و آلی بر درصد نیتروژن خاک معنی‌دار بود و به‌طور کلی، تمامی تیمارهای کودی بررسی‌شده در مقایسه با شاهد عدم مصرف کود منجر به افزایش نیتروژن کل خاک شدند (جدول ۴). تیمار تلفیقی کود زیستی فسفونیتروکارا به همراه ورمی‌کمپوست و نیمی از کود شیمیایی بیشترین مقدار نیتروژن کل خاک (۰/۱۴۲درصد) را به خود اختصاص داد (شکل ۳). در تیمارهایی که کود شیمیایی نیتروژن به تنهایی یا به همراه کود زیستی به‌کار رفته در مقایسه با تیمارهای دارای کود آلی ورمی‌کمپوست میزان نیتروژن کل خاک کمتر بود. از آنجا که میزان فعالیت باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده‌نیتروژن شدیداً به شرایط محیطی از جمله تأمین کربن آلی بستگی دارد (Matthew *et al.*, 2008) می‌توان اظهار کرد که در تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست، فراهمی کربن باعث بهبود فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده‌نیتروژن و در نتیجه افزایش معنی‌دار نیتروژن خاک گردیده است. همچنین، با توجه به قابلیت انحلال کود شیمیایی نیتروژنی در آب، امکان آبشویی این کود بالاست و احتمالاً بخش زیادی از کود اوره در اوایل فصل رشد توسط گیاه جذب شده و یا از طریق شستشو از خاک خارج شده است. همچنین مقادیر پایین‌تر نیتروژن خاک در انتهای فصل در تیمارهایی که کود شیمیایی به تنهایی یا همراه با کود زیستی مصرف

شده بود مبین آبشویی بیشتر نیتروژن است. در حالی که مقدار نیتروژن کل خاک در تیمارهای تلفیقی دارای کود آلی، مثل ورمی‌کمپوست به‌علاوه نیمی از کود شیمیایی، فسفونیتروکارا همراه با ورمی‌کمپوست و تیمار تلفیقی بیوسولفور به همراه ورمی‌کمپوست و نیمی از کود شیمیایی، بیشتر بود (شکل ۳).



شکل ۲- تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای بر میزان فسفر قابل جذب خاک. (Cf: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده، ۱/۲cf: ۵۰ درصدکود شیمیایی پیشنهاد شده، Nf: عدم مصرف کود،V: ورمی‌کمپوست، P: فسفونیتروکارا، B: بیوسولفور). میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD درسطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 2- The effect of nutrition treatments on phosphorus concentration in soil (Cf: 100% of the recommended fertilizer, 1/2cf: ½ proposed fertilizer, Nf: No fertilizer, V: Vermicompost, P: Phosphonitrokara, B: Biosulfur). Means in each column, followed by the same letters, are not significantly different at 5% probability level- using LSD test.



شکل ۳- تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای بر میزان نیتروژن کل خاک. (Cf: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده، ۱/۲cf: ۵۰ درصدکود شیمیایی پیشنهاد شده، Nf: عدم مصرف کود،V: ورمی‌کمپوست، P: فسفونیتروکارا، B: بیوسولفور). میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD درسطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 3- The effect of nutrition treatments on total nitrogen concentration in soil (Cf: 100% of the recommended fertilizer, 1/2cf: ½ proposed fertilizer, Nf: No fertilizer, V: Vermicompost, P: Phosphonitrokara, B: Biosulfur). Means in each column, followed by the same letters, are not significantly different at 5% probability level- using LSD test.

خان و همکاران (Khan *et al*., 2015) نیز در بررسی‌های خود گزارش کردند که بیشترین محتوای نیتروژن آمونیاکی خاک در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر مشاهده شد که افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. همچنین فونگلوزا و همکاران (Phonglosa *et*

al., 2015) طی آزمایش دو ساله خود مشاهده کردند که مقدار نیتروژن خاک در تیمارهای دارای کود آلی و زیستی نسبت به تیمار کود شیمیایی برتری داشت و بیشترین میزان نیتروژن خاک (۱۷۳/۲۱ کیلوگرم در هکتار) با افزایش ۱۸/۳ درصدی نسبت به شاهد، در کاربرد همزمان ۷۵ درصد کود شیمیایی نیتروژن و فسفر+ پتاسیم و ورمی‌کمپوست به‌دست آمد. بنابراین به نظر می‌رسد که در تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست میزان آبشویی کمتر، حفظ و تثبیت نیتروژن در خاک بیشتر اتفاق افتاده است که این امر را می‌توان به افزایش ماده آلی خاک و افزایش کلوئیدهای هوموسی نسبت داد (Dorado *et al*., 2003).

اسیدیته خاک: نتایج آزمون خاک حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار کودهای زیستی بر pH خاک بود (جدول ۴). با این وجود کمترین میزان اسیدیته خاک (۷/۷) با کاهش ۰/۳ واحدی نسبت به اسیدیته خاک قبل از اجرای آزمایش، به تیمار تلفیقی بیوسولفور و ورمی‌کمپوست تعلق داشت. باکتری‌های تیوباسیلوس از طریق اکسایش گوگرد منجر به تولید اسیدسولفوریک شده و در صورتی‌که خاک خاصیت بافری چشمگیری نداشته باشد، باعث کاهش pH خاک می‌گردند. خاصیت بافری خاک به وجود رس، مواد آلی، آهک، ترکیبات فسفره و بسیاری از ترکیبات شیمیایی دیگر برمی‌گردد، هرگاه مقدار اسیدسولفوریک تولید شده، توان خنثی کردن عوامل بافر را دارا باشد، pH خاک کاهش می‌یابد (Besharaty and Malekzadeh, 2015). یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که احتمالاً میزان گوگرد به‌کار رفته جهت تغییر اسیدیته خاک کافی نبوده و باکتری‌ها نتوانسته‌اند فعالیت مناسبی جهت تولید اسیدسولفوریک و در نتیجه کاهش اسیدیته خاک داشته باشند، همچنین خاصیت بافری خاک بالا بوده است و کاهش اسیدیته خاک بایستی در طی فرآیندی طولانی مدت صورت گیرد و گوگرد به مقدار زیاد و در دفعات به خاک اضافه شود (Patrici, 2000).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج پژوهش حاضر به نظر می‌رسد که کودهای زیستی و آلی به تنهایی جوابگوی نیازهای غذایی آفتابگردان نیستند، بلکه کاربرد تلفیقی کودهای زیستی، آلی و شیمیایی در کنار یکدیگر می‌تواند اثربخشی بالایی بر افزایش دسترسی به عناصر غذایی و غلظت آن‌ها در دانه و عملکرد اقتصادی داشته باشد. همچنین مقادیر بالاتر عناصر نیتروژن، فسفر و سولفات خاک در انتهای فصل رشد در تیمارهای دارای کود زیستی و آلی، حکایت از نقش مثبت این کودها در تثبیت نیتروژن، انحلال و رهاسازی آهسته فسفر در طی فصل رشد، افزایش اکسایش گوگرد، کاهش تثبیت عناصر و آبشویی داشت. فراهمی مواد آلی در خاک از طریق کاربرد ورمی‌کمپوست نیز اثر هم‌افزایی مطلوبی بر عملکرد سایر کودها داشت. بنابراین می‌توان پیشنهاد کرد که کودهای زیستی مانند فسفونیتروکارا و بیوسولفور و کود آلی ورمی‌کمپوست به‌صورت مکمل در کنار کودهای شیمیایی می‌توانند با بهبود باروری و حاصلخیزی خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی در زراعت آفتابگردان، در جهت پایداری تولید و حفظ سلامتی محیط‌زیست مثمر ثمر واقع شوند.

References

1. Ahmad, M., Zahir, Z. A., Khalid, M., Nazli, F., and Arshad, M. 2013. Efficacy of rhizobium and pseudomonas strains to improve physiology, ionic balance and quality of *mung bean* under salt-affected conditions on farmer's fields. Plant Physiology and Biochemistry 63: 170-176.
2. Altaf, A., Ishrat, K., and Abdin, M. Z. 2000. Effect of sulfur fertilization on oil accumulation, acetyl co-A concentration, and acetyl co-A carboxylase activity in the developing seeds of rapeseed (*Brassica compestris* L.). Australian Journal of Agricultural Research 51: 1023-1029.
3. Anonymous, 1987. Approved Methods of the AACC. Method 11-46, American Association of Chemists Inc. St Paul, MN, USA.
4. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J. D. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology 93: 145-153.
5. Besharaty, H., and Malekzadeh, T. 2015. Effect of sulfur and *thiobacillus* on soybean growth and uptake of some nutrients in four calcareous soils with different buffering capacities. Iranian Journal of Soil Research 29 (2): 131-145. (in Persian with English abstract).
6. Bremness, L. 1999. Herbs. Eyewitness Handbook. London.
7. Dorado, J., Zancada, M. C., Almendros, G., and Lopez-Fando, C. 2003. Changes in soil properties and humic substances after longterm amendments with manure and crop residues in dry land farming systems. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 166: 31-38.
8. Eichler-Lobermann, B., Kohne, S., and Koppen, D. 2007. Effect of organic, inorganic and combined organic and inorganic P fertilization on plant P and soil P pools. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 170: 623-628.
9. El-Dewiny, C. Y., Moursy, Kh. S., and. El-Aila, H. I. 2006. Effect of organic matter on the release and availability of phosphorus and their effects on spainch and radish plants. Research Journal of Agriculture and Biological

Sciences 2(3): 103-108.
10. Erdal, I., Kepenek, K., and Kızılgoz, I. 2004. Effect of foliar iron applications at different growth stages on iron and some nutrient concentrations in strawberry cultivars. Turk Journal Agriculture Forest 28:421-427.
11. Fankem, H., Ngo Nkot, L., Deubel, A, Quinn, J., Merbach, W., and Etoa, F. X. 2008. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by strains of Pseudomonas fluorescens isolated from acidic soils of Cameroon. African Journal of Microbiology Research 2: 171-178.
12. Graeme, J. B., Rod, B. L., Dana, M., and Anderson, G. C. 1993. Modeling of sulfur oxidation from elemental sulfur. Plant and Soil 155/156: 379-382.
13. Hasanudin, H. 2003. Increasing of the nutrient and uptake availability of N and P andthrough corn yield of inoculation of Mycorrhiza and Azotobacter on ultisol organic matter. Journal of Agriculture Sciences of Indonesia 5 (1): 83-89.
14. Izquierdo, N. G., and Aguirrezabal, L. A. N. 2008. Genetic variability in the response of fatty acid composition to minimum night temperature during grain filling in sunflower. Field Crops Research 106: 116-125.
15. Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M. B., and Ehyayi, H. R. 2013. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. Industrial Crops and Products 43: 606- 61.
16. Kacar, B., and Katkat, A.V. 2007. Plant Nutrition. 3th Edn. Nobel Press; Ankara, Turkey.
17. Kaplan, M., and Orman, S. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in turkey. Plant Nutrient 21 (8): 1655-1665.
18. Kennedy, I. R., Choudhury, A. T. M. A., and Kecske´s, M. L. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems:can their potential for plant growth promotion be better exploited? Soil Biology and Biochemistry 36: 1229-1244.
19. Khan, K., Pankaj, U., Verma, S. K., Gupta, A. K., Singh, R. P., and Verma, R. K. 2015. Bio-inoculants and vermicompost influence on yield, quality of *Andrographis paniculata*, and soil properties. Industrial Crops and Products 70: 404-409.
20. Kumar, S., Pandey, P., and Maheshwari, D. K. 2009. Reduction in dose of chemical fertilizers and growth enhancement of sesame (*Sesamum indicum* L.) with application of rhizospheric competent *Pseudomonas aeruginosa* LES4. European Journal of Soil Biology 45: 334-340.
21. Kumar, A., Maury, B. R., and Raghuwanshi, R. 2014. . Isolation and characterization of PGPR and their effect on growth, yield and nutrient content in wheat (*Triricum aestivum* L.). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 3: 121-128.
22. Marschner, H. 1995. Mineral Nutriton of higher plants. 2nd. ed. Academic Pres; San Diago, USA.
23. Matthew, C. J., Bjorkman, M. K., David, M. K., Saito, A. M., and Zehr, P. J. 2008. Regional distributions of nitrogen-fixing bacteria in the Pacific Ocean. Limnol. Oceanogr 53: 63-77.
24. Modaihsh, S., Al-mustafa, W. A., and Metwally, A. E. 1989. Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. Plant and Soil 116: 95-101.
25. Mohammadi, K. H., Ghalavand, A., Aghaalikhani, M., and Rokhzadi, A. 2011. Effect of different methods of increase soil fertility by adding organic, chemicals and biological fertilizers on grain yield and quality of canola (*Brassica napus* L.). Journal of Agroecology 3 (3): 298-308. (in Persian with English abstract).
26. Mohanty, S., Paikaray, N. K., and Rajan, A. R. 2006. Availability and uptake of phosphorus from organic manures in groundnut (*Arachis hypogea* L.)-corn (*Zea mays* L.) sequence using radio tracer technique. Geoderma 133: 225-230.
27. Page, A. L., Somner, C. E., and Nelson, P. W. 1996. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. ASA/SSSA Madison, Wisconsin, USA
28. Patrici, I. 2000. Integrated nutrient management for sustaining crop yield in calcareous soils of India. GAU-PRII-International Potash Institute. National Symposium. Junagadh. Gujarat. India.
29. Phonglosa, A., Bhattacharyya, K., Ray, K., Mandal, J., Pari, A., Banerjee, H., and Chattopadhyay, A. 2015. Integrated nutrient management for okra in an inceptisol of easternIndia and yield modeling through artificial neural network. Scientia Horticulturae 187: 1-9.
30. Rodrigues, E. P., Santos Rodrigues, L., Martinez de Oliveira, A. L., Baldani, V. L. D., Teixeira, K., Urquiaga, S., and Reis, V. M. 2008. *Azospirillum amazonense* inoculation: Effects on growth, yield and N2 fixation of rice (*Oryza sativa* L.). Plant and Soil 302: 249-261.
31. Roesty, D., Gaur, R., and Johri, B. N. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial. Community structure in rain-fed wheat fields. Journal of Plant Science 38: 1111-1120.
32. Salimpour, S., Khavazi, K., Nadian, H., Besharati, H., and Miransari, M. 2010. Enhancing phosphorous availability to canola (*Brassica napus* L.) using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. Australian Journal of Crop Science 4 (5): 330-334.
33. Shakeri, E., Amini Dehaghi, M., Tabatabaei, S. A., and Modares Sanavi, S. M. A. 2012. Effect of chemical

fertilizer and biofertilizer on seed yield, its components, oil and protein percent in sesame varieties. Journal ofagriculturalscienceandsustainable production 22 (1): 71-86. (in Persian with English abstract).
34. Sharma, P. B. 2005. Fertilizer management in sesame (*Sesamum indicum* L.) based intercropping system in Tawa command area. Journal of Oilseeds Researsh 22: 63-65.
35. Shata, S. M., Mahmoud, A., and Siam, S. 2007. Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer. Reacerch Journal of Agriculture and Biological Sciences 3(6): 733-739.
36. Siami, A., and Besharaty, H. 2012. Effect of sulfur biological oxidation trend on release of iron and zinc. Iranian Journal of Soil Research 26 (3): 255- 267. (in Persian with English abstract).
37. Uzun, B., Arslan, C., and Furat, S. 2008. Variation in fatty acid compositions, oil content and oil yield in a germplasm collection of Sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of the American Oil Chemists' Society 85: 1135-1142.
38. Varzi, M. R., Habibi, D., Vazan, S., and Pakzi, A. 2011. The effect of plant growth promoting rhizobacteria and nitrogen fertilizer on grain quality of sunflower. Journal of Crop Ecophysiology 7: 156-160. (in Persian with English abstract).
39. Vessy, K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizars. Plant and Soil 255: 571-586.
40. Weiss, E. A. 2000. Oilseed Crops, 2nd ed., Blackwell Science Ltd., Bodmin, UK.
41. Zapata, F., and Roy, R. N. 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. p. 117-122. Publication of the FAO Land and Water Development Division.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 35-48

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۴۸-۳۵

Some Soil Characters and Qualitative Traits of Sunflower Seeds to Different Nutritional Regimes

F. Soleymani[1]- G. Ahmadvand[2*]- A. A. Safari sinegani[3]

Received: 12-03-2016
Accepted: 12-09-2017

Introduction

To achieve the high economic yield in crops, supplying enough nutrients for plants is important, that much of it, supplied by chemical fertilizers. But excessive use of chemical fertilizers led to environmental problems that these negative effects have caused attention to healthy and ecological sustainable farming systems. One solution to reduce dependence on chemical fertilizers is application of organic and biological products for plant nutrition. Bio-fertilizers are made from one or more species of beneficial microorganisms with preservatives and or their products. In addition, vermicompost is an organic fertilizer and mixed of very active biological bacteria, enzymes, plant residues, manure and earthworm capsule which leads to continued organic matter decomposition and development of microbial and enzymatic activities in soil. Several experiments have shown that the using of biological and organic fertilizers improve growth and quality of products.

Materials and Methods

To investigate the effect of various nutritional regimes on seed quality characteristics of sunflower (Euroflour cv.) and some soil characters, an experiment was carried out as a randomized complete block design with 3 replications in 2015 at the Agricultural Faculty of Bu-Ali Sina University.Treatments included no biological or chemical fertilizer application, 100% of the recommended NP fertilizers (250 kg urea per hectare, 50 kg triple superphosphate per hectare), ½ recomended NP fertilizers, vermicompost (15 ton per hectare mixed with soil), phosphonitrokara (including *Bacillus coagulans*, *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum lipoferum*, 110 ml to inoculate 10 kg seeds), biosulfur (including *Thiobacillus*,mix 6 kg of fertilizer with 300 kg sulphur for 1 hectare), vermicompost+ phosphonitrokara, vermicompost+ biosulfur, vermicompost+½ NP fertilizers, phosphonitrokara+½ NP fertilizers, biosulfur+½ NP fertilizers, vermicompost+ phosphonitrokara+½ NP fertilizers, vermicompost+ biosulfur+½ NP fertilizers. Concentrations of nitrogen, phosphorus and sulfur of sunflower seeds and soil were measured by standard methods. Moreover, seed oil content was determined. Data processing and graphs were performed with SAS var 9.2 and Excel software.

Results and Discussion

The results showed that nutritional treatments significantly affected all traits except seed oil content and soil pH. The maximum seed sulfur content (0.231%) belonged to biosulfur+ vermicompost treatment indicating that providing sulfur for sunflower of oxidation in soil increased the concentration of seed sulfur. The highest phosphorous (0.45) obtained from phospho nitro kara+ vermicompost and biosulfur+ vermicompost+ ½ NP fertilizers. Secretion of different enzymes such as phosphatase by rhizobacteria led to solubility and increasing available phosphate. Maximum nitrogen (2.688%) and protein (16.8%) content of seed was observed in phosphonitrokara+ vermicompost+ ½ NP fertilizers treatment. It seems that bacteria in the biological and organic fertilizer along to chemical fertilizer by nitrogen fixing provided the necessary substrate for protein synthesis. According to grain yield, the highest oil yield was achieved in chemical fertilizer that there was no significant difference with biosulfur+ vermicompost+ ½ NP fertilizers. Likely, the positive effects of thiobacillus on oil seed was related to the appropriate turnover of photosynthesis enzymes, activity improvement of acetyl-CoA and increasing availability of carbon for oil biosynthesis. Maximum total sulphate, available phosphorus and total nitrogen content of soil was observed in biosulfur+ vermicompost, phosphonitrokara+ vermicompost+ ½ NP fertilizers and phosphonitrokara+ vermicompost+ ½ NP fertilizers, respectively. In treatments includes vermicompost due to increasing soil organic matter, humus colloids and carbon availability for activity of nitrogen fixing bacteria was occurred less leaching and increased maintenance and fixation of nitrogen in the soil. Soil pH was not affected by treatments. The finding showed that reduction of pH must be done during the process of long term and sulfur to be added to soil plenty and in times.

1, 2 and 3- Respectively Graduated Ph.D. in Crop Physiology, Associate Professor of Agronomy and Professor of Soil science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan
(*- Corresponding Author Email: gahmadvand@basu.ac.ir)

Conclusions

In general, we can suggest that biological (phosphonitrokara andbiosulfur) and organic (vermicompost) fertilizers along with chemical fertilizers by modifying the nutritional conditions of soil and reduce the use of chemical fertilizers can be effective in stability of production and conservation of environmental health.

Keywords: Biologic fertilizer, Nutritional elements, Vermicompost